Etude 150
Projet N° 8351-202
IGM84-202-150

Corrosion d'une cathode de laser

par

C.P. Vijayan et J.J. Hechler
Conseil national de recherches du Canada
Institut de génie des matériaux
75, boul. de Mortagne
Boucherville, Québec J4B 6Y4

novembre 1984

CNRC N° 23791

→ J J H

Compte rendu d'un travail effectué sur demande de Gen-Tec

Organisme: GEN-TEC INC.
2625 Dalton, Québec, Québec G1P 3S9

Personne rencontrée: M. Mario Drouin

Date: juin 1984

OBJECT: Problème de fonctionnement de lasers produits par GEN-TEC

1. Exposé du problème

Les systèmes de laser en question comprennent une anode principale faite d'un grillage d'acier inoxydable (50 cm x 5 cm, 20 fils/cm), une cathode légèrement convexe en cuivre ou en alliage d'aluminium 6061 et un mélange gazeux à pression atmosphérique de composition He ~ 82%, %(CO_2 + N_2 + CO) ~ 18% avec 0.02 ($\%CO_2$)/($\%CO_2$ + $\%N_2$) 1. Ce mélange circule parallèlement aux électrodes à une vitesse de 500 cm/s. La température du système est de 18°C. Lors du fonctionnement du laser, au bout de 1 million de décharges (~ 500 ns) soit au bout d'environ 100 heures de fonctionnement des arcs incomplets commencent à se former à partir de la cathode. Très rapidement, ils atteignent l'anode, deviennent de plus en plus nombreux et arrêtent ainsi le fonctionnement du laser. Autour de la base de ces arcs apparaissent des tâches noires dans le cas du cuivre et blanches dans le cas de l'aluminium.

Dans la discussion, il est apparu que la cause de la formation des arcs était à rechercher sur la cathode même, car en remplaçant entièrement les gaz, les arcs subsistaient.

Après ce premier contact, M. Drouin nous a envoyé un échantillon découpé dans une cathode en aluminium. L'étude et la discussion sont relatives à cet échantillon et portent uniquement sur les modifications chimiques dans le système.

2. Etude effectuée

L'échantillon a été passé au microscope électronique à balayage. Des images ont été prises et des analyses d'oxygène et de carbone ont été faites par fluorescence-X à dispersion de longueur d'onde.

La figure 1 représente l'échantillon au complet. La figure 2 donne le détail de la petite tâche blanchâtre en centre de la fig. 1 (tâche elle-même entourée d'une auréole blanche). La fig. 3 donne la répartition (en blanc) de l'oxygène pour la surface représentée à la fig. 2. La figure 4 représente un détail de la fig. 2 et la fig. 5 donne la répartition du carbone de cette figure.

3. Discussion

D'après la figure 3, il est clair que les tâches blanches sont dues à la formation d'oxyde d'aluminium. Les tâches noires dans le cas d'une cathode en cuivre sont donc certainement constituées d'oxyde de cuivre.

Selon la répartition de l'oxygène de la fig. 3 et des détails de la fig. 2, une explication possible de la formation d'arcs est la suivante:

Une mince couche d'oxyde est présente à la surface de la cathode avant même la mise en service. Lors des premières heures de fonctionnement, cette couche pourrait s'épaissir avec l'apport d'oxygène venant du gaz, phénomène favorisé par les conditions de fonctionnement du système. En effet, si on regarde les énergies libres de formation de Al_2O_3, CO et CO_2 (tableau I), la formation d'Al_2O_3 est thermodynamiquement favorisée au détriment de CO et CO_2. D'autre part, il est connu que CO_2 a tendance à se dissocier en CO et $\frac{1}{2}$ O_2 sous l'action de décharges électriques facilitant ainsi l'oxydation. Egalement, les gaz ionisés par les décharges donnent certainement naissance à des ions positifs contenant de l'oxygène qui, attirés par la cathode, peuvent faciliter l'oxydation de l'aluminium. Cette couche d'oxyde s'épaississant, la résistance électrique augmente, les arcs électriques se produisant alors localement aux endroits de plus faible résistance. La température monte alors fortement à la base des arcs au point de faire fondre et de projeter l'aluminium en fines gouttelettes (fig. 2) oxydées (fig. 3). La même fig. 3 montre également une plus faible densité superficielle en oxygène de la surface mise à nu par les projections d'aluminium, contrastant avec une densité environnante plus forte, ceci ayant pour effet de maintenir l'arc en existence à cet endroit. Les figures 4 et 5 montrent également la présence de carbone mais il n'est pas clair si ce carbone provient du gaz ou d'un corps étranger qui s'est déposé sur l'échantillon lors des manipulations effectuées.

Cette hypothèse de la formation d'une couche d'oxyde liée à la formation d'arcs devrait être vérifiée:

a) par une analyse continue des gaz en CO et CO_2 (absorption IR, par exemple).
b) Par un suivi de l'épaisseur de la couche d'oxyde pendant les 100 premières heures de fonctionnement, toutes les 20 heures, par exemple. Cela nécessiterait la destruction de 5 cathodes.

4. Conclusion

Sous réserve de confirmation, il semble que l'utilisation de métaux peu nobles conduise invariablement, dans la condition de fonctionnement des lasers, à la formation d'une couche d'oxyde par réduction de CO_2 et à la formation d'arcs. La solution à ces problèmes passerait ainsi par l'utilisation de matériaux non oxydables à la cathode.

5. Recommandations

A part les vérifications évidentes qu'il n'y a pas d'entrée d'air ou d'humidité dans le système, il serait intéressant d'essayer:

a) Des métaux nobles comme l'or ou le platine sous forme de couches déposées sur la surface de la cathode, par exemple.

b) Une cathode en graphite. Dans ce cas, il n'y aurait pas de modification de surface à prévoir sous la cathode lors des décharges. Cependant, la composition des gaz est susceptible de changer par l'équilibre $C + CO_2 \rightleftarrows 2\ CO$ entraînant une diminution du % CO_2 et peut-être une modification dans le fonctionnement même du laser. Le graphite a aussi l'inconvénient d'avoir des conductivités thermique et électrique beaucoup plus faibles que celles de l'aluminium.

D'autre part, la présence d'irrégularités en surface peut également être la cause de la naissance des arcs: le meilleur fini de surface possible est ainsi souhaitable.

6. Participation à ce travail

- M. Thibodeau et J. Masounave pour les travaux au microscope électronique.
- P. Cielo et S. Dallaire pour discussions.

C.P. Vijayan et J.J. Hechler

c.c. G.L. Bata
P. Cielo
S. Dallaire
H. Marquis
J. Masounave
M. Thibodeau

Tableau I

Energie libre standard de formation d'un composé en partant de ses éléments, à 25°C

Substance	Etat	Energie libre, ΔF°_f k cal/g. mole
Al_2O_3 (α)	c	- 376.77
CO_2	g	- 94.26
CO	g	- 32.81
H_2O	g	- 54.64

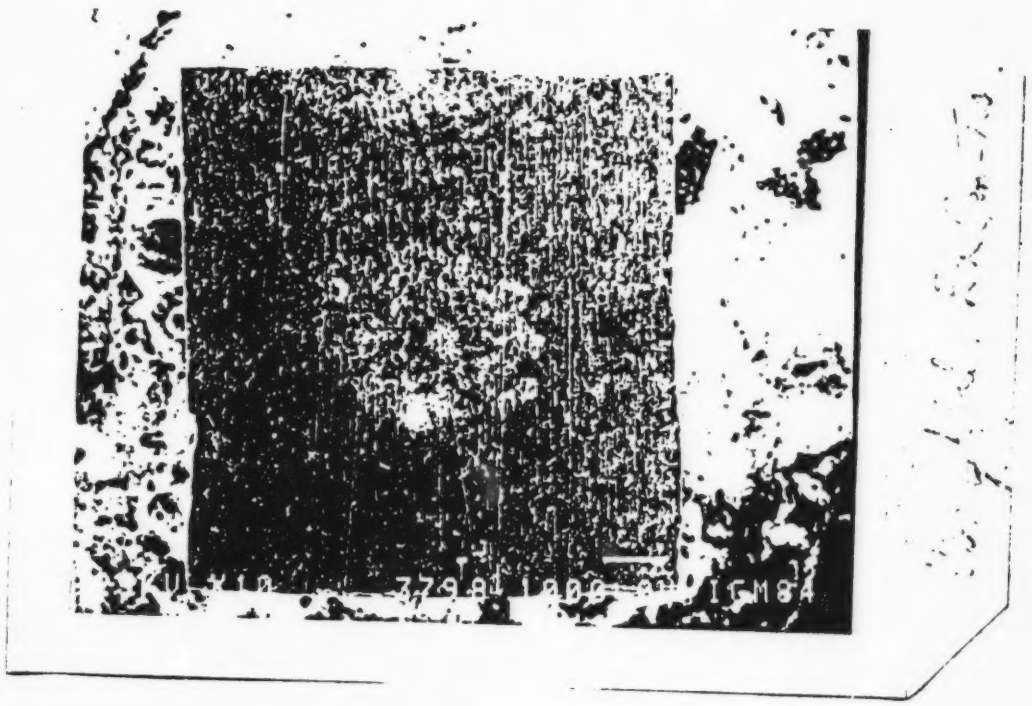

Figure 1

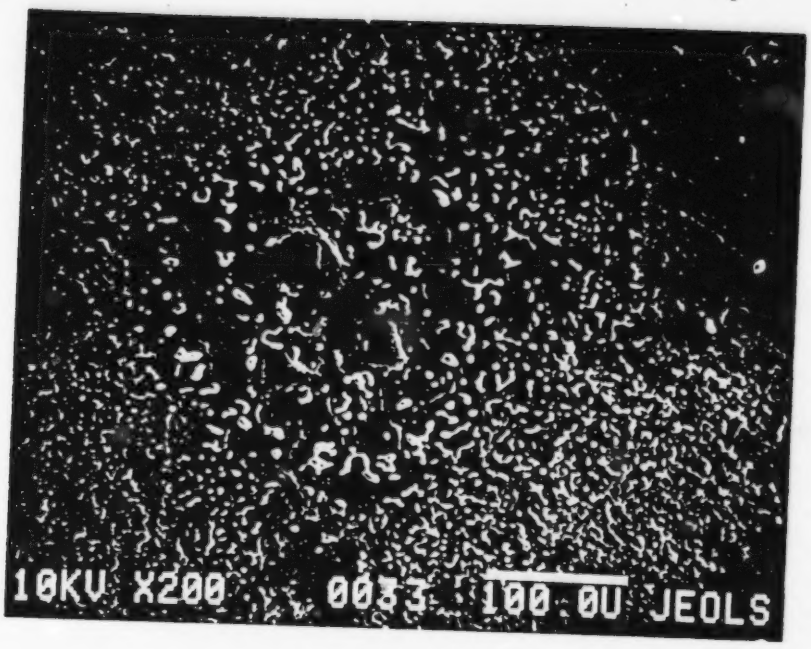

Figure 2

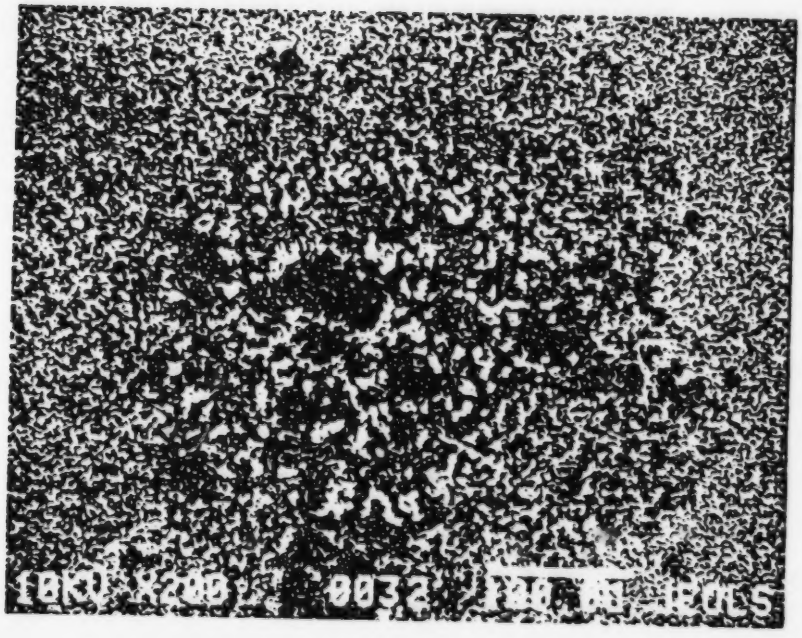

Figure 3

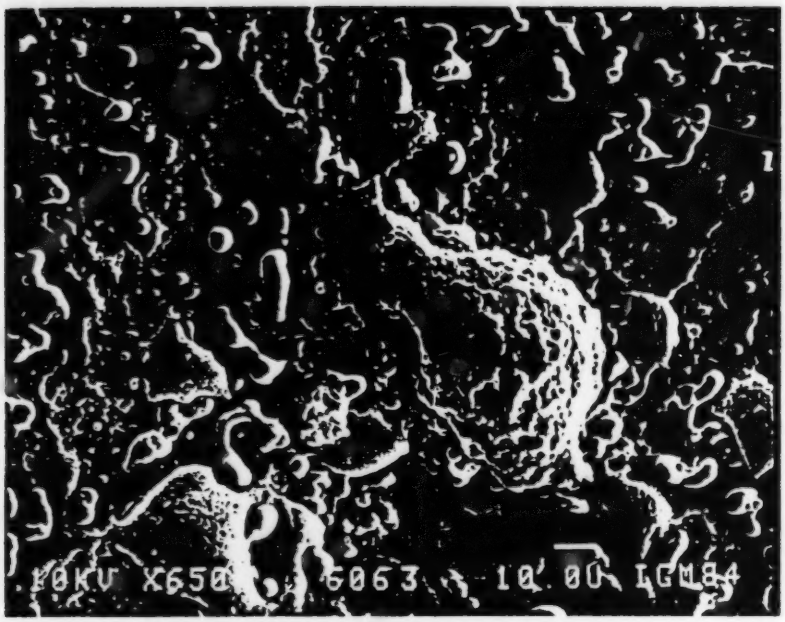

Figure 4

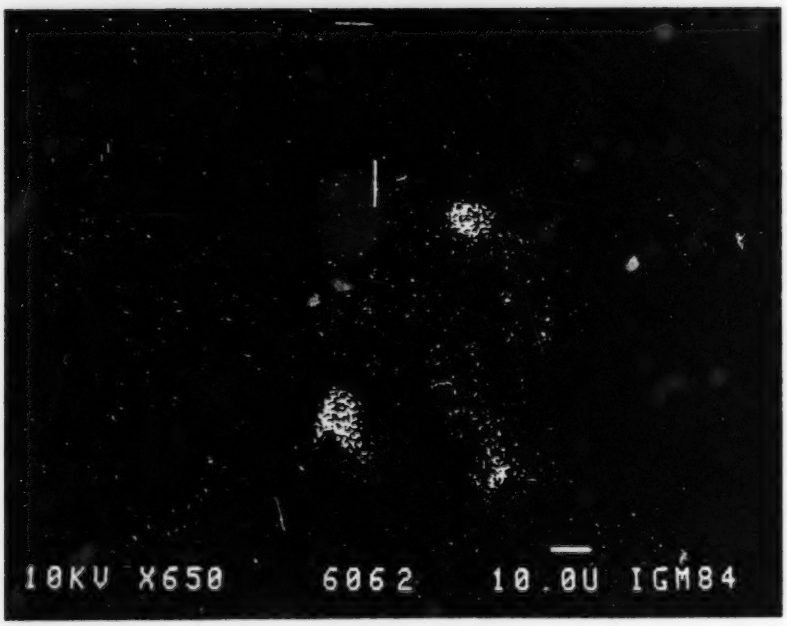

Figure 5